



**Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Proyecto de diseño de un proceso de sellado óptimo para tubos de pasta de dientes

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial i
Aeronàutica de Terrassa

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Autor: Marta Lana Tarridas

Junio 2016

Tutor: Rafael Weyler Pérez

Cotutor: Montserrat Sánchez Romero



**Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa**

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Titulació:

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Alumno:

Marta Lana Tarridas

Título:

**Proyecto de diseño de un proceso de sellado óptimo para
tubos de pasta de dientes**

Director TFG:

Rafael Weyler Pérez

Codirector TFG:

Montserrat Sánchez Romero

Convocatoria:

Junio 2016

Contenido de este volumen: **MEMORIA**

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias tanto a mi tutor Rafael Weyler como a mi cotutora Montserrat Sánchez ya que me han ayudado en todo momento, aportándome conocimientos que desconocía sobre los campos que he abarcado a lo largo de este proyecto. Agradezco también el soporte que he recibido de mi familia y de mis amigos.

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado abarca la determinación de un proceso de sellado óptimo para tubos de pasta dental a partir de distintos procesos seleccionados como posibles candidatos para encontrar el óptimo.

Se ha partido de un gran abanico de procesos de sellado utilizados en diversos ámbitos de la industria, donde se ha hecho un estudio previo para escoger aquellos que sean de más interés para el envase de pasta dental.

Se han explicado y concretado cinco procesos característicos tanto los estandarizados por la industria de sellado como otros procesos alternativos. Seguidamente se han llevado a cabo metodologías de eliminación de procesos gracias a la realización de varios estudios.

En primer lugar se ha llevado a cabo un estudio de compatibilidad entre el proceso y el envase que examina las variables de carácter genérico. En segundo lugar se han realizado estudios mucho más específicos y centrados en las variables más influyentes de cada proceso.

Finalmente se ha expuesto una comparación exhaustiva, a nivel económico, medioambiental y técnico de los procesos candidatos con el fin de contrastar una serie de parámetros que serán establecidos durante el desarrollo del proyecto y así poder llegar a encontrar el óptimo.

SUMARIO

1	ANTECEDENTES	3
1.1	MOTIVACIÓN	3
1.2	REQUERIMIENTOS PREVIOS.....	3
2	INTRODUCCIÓN	4
2.1	OBJETIVO DEL PROYECTO	4
2.2	ALCANCE DEL PROYECTO	4
2.3	ESPECIFICACIONES BÁSICAS DEL PROYECTO	5
2.4	JUSTIFICACIÓN DE LA UTILIDAD	5
3	ESTADO DEL ARTE	6
3.1	TERMOSELLADO	6
3.1.1	<i>Sellado por barra caliente.....</i>	<i>6</i>
3.1.2	<i>Sellado por inducción.....</i>	<i>8</i>
3.2	SEAMING.....	10
3.3	SELLADO POR ULTRASONIDO	11
3.4	SELLADO POR CINTA ADHESIVA	12
4	COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE SELLADO	14
4.1	ESTUDIO DE COMPATIBILIDAD	14
4.2	ESTUDIO DE PARÁMETROS DE CADA PROCESO	17
4.2.1	<i>Sellado por barra caliente.....</i>	<i>19</i>
4.2.2	<i>Sellado por ultrasonido</i>	<i>22</i>
4.2.3	<i>Sellado por cinta adhesiva</i>	<i>25</i>
4.3	COMPARACIÓN ECONÓMICA Y MEDIOAMBIENTAL DE LOS PROCESOS	29
4.3.1	<i>Análisis de costes de cada proceso.....</i>	<i>29</i>
4.3.2	<i>Comparación medioambiental.....</i>	<i>32</i>
5	DETERMINACIÓN DEL PROCESO ÓPTIMO	35
6	DESARROLLO DE LOS ASPECTOS TEMPORALES	37
7	CONCLUSIONES	39
9	BIBLIOGRAFÍA	40

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PROPIEDADES MECÁNICAS PE.....	18
TABLA 2: RANGO DE VALORES PARA LAS DIMENSIONES DE TUBOS DE PASTA DE DIENTES	18
TABLA 2: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA TERMOSELLADORA.	20
TABLA 3: VARIABLES DEL SELLADO POR BARRA CALIENTE.	21
TABLA 4: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA SELLADORA POR ULTRASONIDO.	23
TABLA 5: VARIABLES DEL SELLADO POR ULTRASONIDO.	24
TABLA 7: DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN Y DEL PEGAMENTO.	26
TABLA 6: DETERMINACIÓN DE LA POSICIÓN EN X DEL PEGAMENTO.	27
TABLA 9: RELACIÓN ENTRE EL TIEMPO DE CURADO (X) Y % DE RESISTENCIA TOTAL DEL ACERO (Y).	28
TABLA 9: ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA DEL SELLADO POR BARRA CALIENTE.	31
TABLA 10: ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA DEL SELLADO POR ULTRASONIDO.	31

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: TERMOSELLADORA POR BARRA CALIENTE SEMIAUTOMÁTICA PARA USO FARMACÉUTICO.....	7
ILUSTRACIÓN 2: ESTRUCTURA TERMOSELLADORA POR BARRA CALIENTE.	7
ILUSTRACIÓN 3: PROCESO DE SELLADO PARA BOTELLAS DE PLÁSTICO.....	8
ILUSTRACIÓN 4: CROQUIS DE LAS OPERACIONES DEL SEAMING.	10
ILUSTRACIÓN 5: ESQUEMA GRÁFICO DE LAS OPERACIONES DEL SELLADO POR ULTRASONIDO.	12
ILUSTRACIÓN 6: CROQUIS DE LA GEOMETRÍA DE LA CINTA ADHESIVA.....	13
ILUSTRACIÓN 7: DISEÑO DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE 3 TERMOSELLADORAS.	22
ILUSTRACIÓN 8: MÁQUINA DE SELLADO HX-007.	24
ILUSTRACIÓN 9: CROQUIS DEL SELLO CON SU SISTEMA DE COORDENADAS.	26

1 ANTECEDENTES

1.1 Motivación

El gran interés desarrollado a lo largo de las asignaturas de Organización de la producción y de Resistencia de materiales fue la principal motivación para llevar a cabo este multidisciplinario proyecto en el ámbito del sellado y de la producción.

Asimismo, poder poner en práctica los conocimientos adquiridos en estos ámbitos, así como las competencias y capacidades desarrolladas a lo largo del grado, para la realización de un proyecto, resulta atractivo y sugestivo, a la vez que enriquecedor a nivel personal.

1.2 Requerimientos previos

Los requerimientos previos necesarios para la realización de este proyecto son los conocimientos adquiridos en las asignaturas de Organización de la producción y Resistencia de materiales. A parte, es necesario conocer el funcionamiento de los distintos métodos de sellado con el fin de determinar los procesos candidatos al óptimo con los que se desarrollará el proyecto.

2 INTRODUCCIÓN

2.1 Objetivo del proyecto

El objetivo principal del proyecto es la determinación de un proceso de sellado óptimo para tubos de pasta de dientes. El proyecto estará enfocado en que las empresas que se dediquen o que hagan uso de procesos de sellado de envases, puedan conocer las ventajas o desventajas que tiene el proceso que usan y la posibilidad de implantar otro proceso alternativo más económico y menos impactante para el medio ambiente.

Este objetivo se conseguirá mediante una comparación exhaustiva de los procesos de sellado previamente seleccionados.

2.2 Alcance del proyecto

Este trabajo pretende recoger la esencia de lo que podría ser un trabajo más amplio y extenso. Se estudiará como se realiza el proceso de sellado en los distintos envases que ofrece el mercado, una vez hecho el estudio se centrará en esos procesos que sean de mas interés para los envases de pasta dental.

En primer lugar, se realizará un estudio previo de selección de procesos de sellado usados en la industria del sellado y otro proceso que no se rige por los convenios de dicha industria. Una vez escogidos los procesos con los que se trabajará, se detallará la técnica que se utilizará en cada proceso y el tipo de selladora que se empleará para la realización del sellado.

En segundo lugar, se hará un estudio para determinar si el proceso seleccionado puede ser aplicable y compatible con el envase de pasta dental, siempre cumpliendo con las especificaciones básicas. A continuación, con los procesos restantes se determinarán los parámetros de cada proceso, se escogerá la selladora y cada sellado posteriormente se implantará a una línea de producción.

Finalmente se compararán los procesos restantes tanto a nivel económico, medioambiental como técnico, para poder llegar a determinar el óptimo.

2.3 Especificaciones básicas del proyecto

Únicamente se comprarán esos procesos que no impliquen la posibilidad de una alteración del contenido del envase que será posteriormente sellado. Es decir, que los procesos escogidos como candidatos no utilicen herramientas o materiales que puedan llegar a contaminar o modificar el contenido del producto.

Finalmente, solo se trabajará con tubos de pasta dental de materiales plásticos, lo cual implica que no se llegará a comparar procesos que no puedan operar con envases plásticos.

2.4 Justificación de la utilidad

Dada la gran demanda de envases de pasta dental por ser un producto de uso cotidiano necesario para cualquier persona que quiera tener una mínima salud bucal, se considera que la optimización de los sistemas de sellado para estos envases pueden ser de gran utilidad para las empresas fabricantes puesto que podría suponer una reducción importante en el coste de producción, una mejora del proceso y una disminución del impacto medioambiental.

3 ESTADO DEL ARTE

En este apartado se expondrán de forma general distintos procesos de sellado que puedan interesar para realizar el diseño de un proceso de sellado óptimo para tubos de pasta de dientes. Entre estos procesos se han incluido algunos procesos ya usados anteriormente en la industria del sellado y la presentación de un proceso alternativo. Los procesos seleccionados son los siguientes:

3.1 Termosellado

El termosellado es un proceso que se caracteriza por realizar una soldadura entre un material termoplástico y otro termoplástico u otro material con propiedades compatibles. El método de contacto directo de sellado se realiza mediante el calor utilizando un troquel o barra de sellado caliente para aplicar calor a un área de contacto específica, mientras que el sellado por inducción utiliza la energía electromagnética con el fin de generar el calor necesario para la soldadura.

Una termoselladora o sellador térmico es una máquina utilizada para el sellado de materiales termoplásticos utilizando calor. Existen dos tipos principales de termoselladoras por contacto directo; por barra caliente y por impulso según sea el sistema de calentamiento de la herramienta, continuo o discontinuo respectivamente. (Tecnología de plásticos, 2016).

3.1.1 Sellado por barra caliente

El sellado por barra caliente posee una herramienta que se calienta previamente y mantiene una temperatura constante a lo largo del proceso de sellado. Las herramientas utilizadas para realizar el sello son barras, planchas o troqueles, en la ilustración 1 tenemos un ejemplo de termoselladora por barra caliente. Este tipo de proceso también es conocido como sellado térmico por contacto directo.

Ilustración 1: Termoselladora por barra caliente semiautomática para uso farmacéutico.

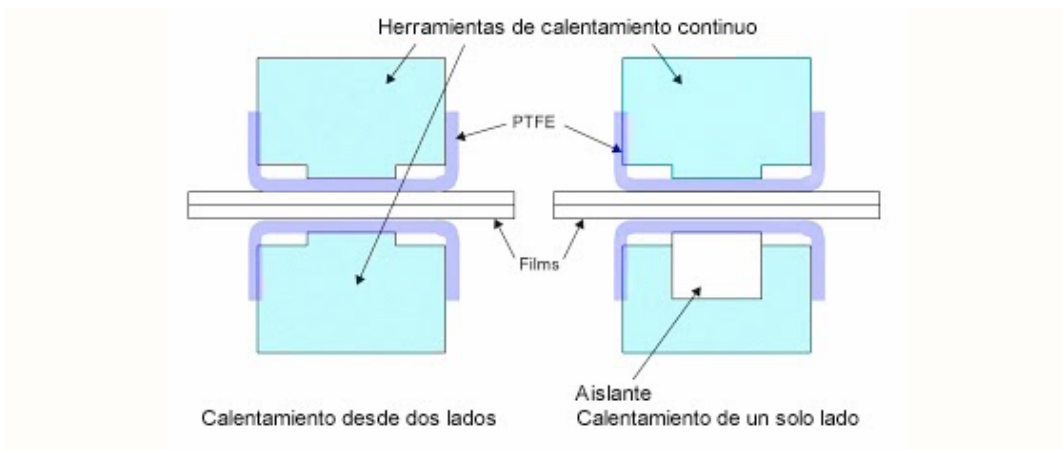


(Tecnología de plásticos, 2016)

Para obtener un buen sello se hace uso de una o más barras calientes que provocan que el material se contraiga con la interfase caliente y formen la unión de los dos materiales. Tal y como se observa en la ilustración 2 este sistema está compuesto por las herramientas de calentamiento continuo recubiertas por Politetrafluoroetileno (PTFE) y láminas films. (Tecnología de plásticos, 2016).

La función del PTFE ,comúnmente conocido como Teflón, consiste en evitar que se pegue el material a sellar a la herramienta caliente ya que la temperatura de contacto entre las dos superficies es elevada. Esta función la puede llevar a cabo ya que el PTFE se caracteriza por ser una gran aislante eléctrico gracias a la capacidad que tiene de soportar temperaturas desde $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ (3 K) hasta $270\text{ }^{\circ}\text{C}$ (543 K). Su mayor cualidad es la antiadherencia. Otra propiedad del Teflón es que dicho material es prácticamente inerte, es decir, que no reacciona con otras sustancias químicas excepto en situaciones muy especiales.

Ilustración 2: Estructura termoselladora por barra caliente.



(Tecnología de plásticos, 2016)

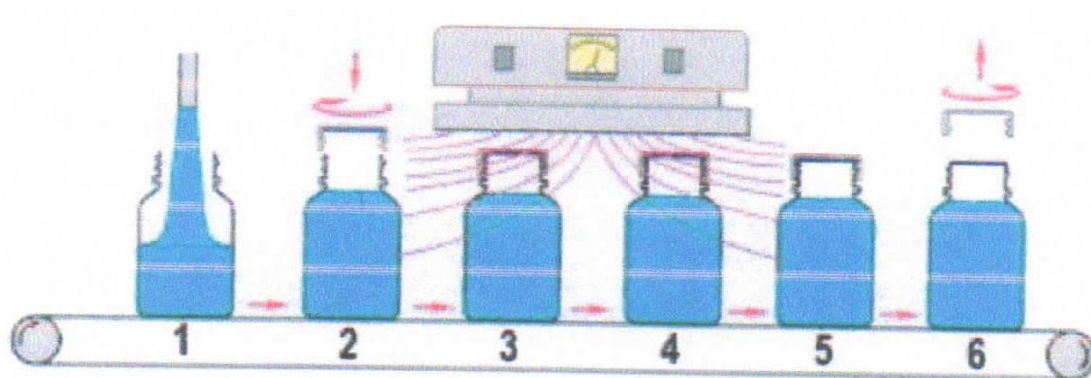
El sello se realiza colocando la superficie a sellar, en otras palabras colocando la parte trasera del envase de pasta dental entre las barras de sellado. Estas herramientas proporcionarán una temperatura adecuada durante un tiempo predeterminado en función del tipo de plástico a sellar. Al calentarse, las superficies se contraerán debido a la temperatura del medio de sellado y se formará una unión electromecánica permanente. El conjunto resultante posteriormente será refrigerado durante un tiempo determinado y pasará al control de calidad del sello para determinar si se ha realizado un bueno sellado.

3.1.2 Sellado por inducción

El sellado de tapas por inducción es un proceso sin contacto por el cual un disco de aluminio o sello es adherido a un envase. En este proyecto se estudiará la compatibilidad de este proceso de sellado con el sellado de tubos de pasta de dientes. El proceso supone pasar el objeto a sellar junto con un cierre de plástico que contendrá un revestimiento de aluminio por debajo de una máquina selladora que actúa por inducción. La energía electromagnética se transmite desde el cabezal de sellado y provoca que se caliente el revestimiento de aluminio con el objetivo de que se suelde al cuello del envase para obtener un sello hermético e inviolable.

Primero, las tapas son suministradas con un sello interno de inducción de lámina de aluminio, listo para ser cargado en la cerradora. El envase es entonces llenado y cerrado mediante el proceso expuesto utilizando las tapas pre-revestidas con el sello interno de inducción.

Ilustración 3: Proceso de sellado para botellas de plástico



(Gestiona Web, 2016)

Como se puede apreciar en la ilustración 3, en la posición 1 la botella se rellena con su contenido. Seguidamente en la 2 se coloca la tapa del envase y el sello de papel de aluminio y finalmente se cierra la estructura. Una vez el envase está cerrado, es transferido a la línea transportadora que pasa por debajo de un cabezal de sellado por inducción. El campo electromagnético generado por el cabezal de sellado penetra tanto la tapa como la capa de lámina de aluminio mientras el envase pasa por debajo. Cuando el campo penetra la lámina, induce un flujo de corriente eléctrica que rápidamente genera calor (temperaturas de 85° - 177° C), el cual funde la película de sellado del liner. Para prevenir daños al liner, el cabezal de sellado está diseñado para que inductivamente caliente la capa de lámina de la estructura del liner uniformemente. Después de dejar el campo de inducción, la lámina se enfría y la película de sellado por calor se adhiere al envase, dejando un envase sellado herméticamente. Finalmente cuando la tapa es quitada, la lámina de aluminio permanece adherida a la boca del envase. (Gestiona Web, 2016).

Las máquinas de sellado por inducción están formadas por una fuente de energía obtenida a través de la inducción, un cabezal de sellado o una bobina y un sistema de enfriamiento. Las frecuencias del campo electromagnético que ofrecen estas máquinas cuando son bajas proporcionan un calentamiento más uniforme por todo el diámetro del revestimiento del sello lo que puede ayudar a fundir la cera en cierres grandes, en cambio cuando las frecuencias son altas, proporcionan un efecto más grande de calentamiento de los bordes, lo que puede ayudar a conseguir índices rápidos de sellado en diámetros más pequeños.

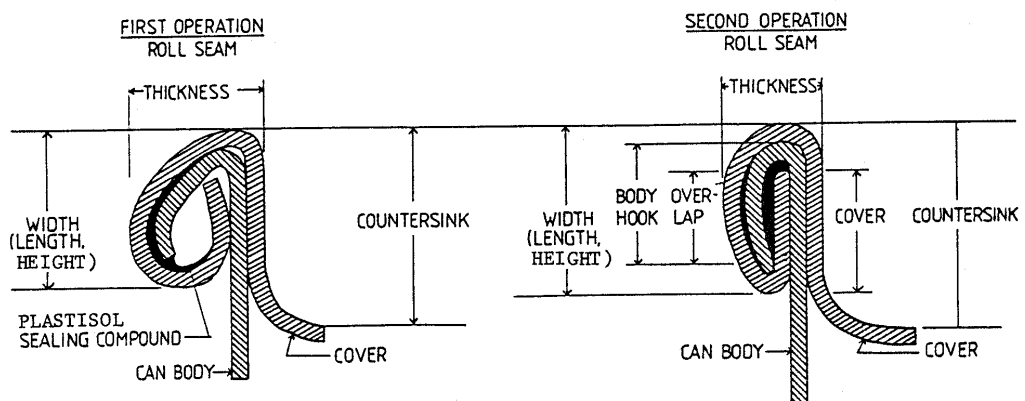
3.2 Seaming

Es un proceso muy característico de sellado de tapas de latas de aluminio aunque en este proyecto se analizará el Seaming como posible proceso de sellado para tubos de pasta dental.

El sello consiste en una costura doble en la parte trasera de los tubos de pasta de dientes proporcionado por una selladora que consta de dos punzones simples pero con una geometría determinada por el envase que se desea sellar. Como se puede apreciar en la ilustración 4, por una parte el rodillo de la primera operación enrolla la superficie de sellado del tubo de plástico. Por la otra, el segundo rodillo de operación aprieta y dobla las dos superficies de sellado para producir una costura doble y generar el sello. Entre ambas se inyecta un material termoplástico de sellado que se funde durante el calentamiento y que rellena los espacios que hayan podido quedar. Este material termoplástico tiene una notable importancia en el proceso ya que reduce las posibilidades de realizar un mal sello.

Las dimensiones de la costura al ser esta el punto más débil se tienen que revisar rutinariamente. Cada operación de doblaje tiene que respetar las propiedades del material con el que se está trabajando y tener en cuenta el espesor del conjunto con el fin de proporcionar una cierta temperatura para que se realice el sello.

Ilustración 4: Croquis de las operaciones del Seaming.



(Fao, 2016).

3.3 Sellado por ultrasonido

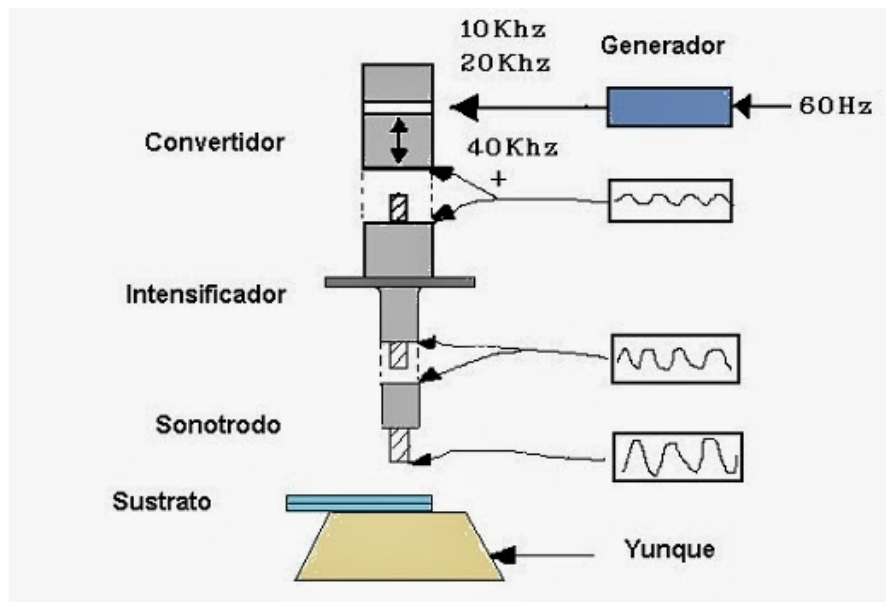
El sellado por ultrasonido es una técnica industrial realizada por alta frecuencia de vibraciones acústicas que proporciona un estado sólido de soldadura. El sellado por ultrasonido de termoplásticos provoca la fusión local del plástico debido a la absorción de la energía de vibración. Este proceso se utiliza comúnmente en plásticos y no es necesario el uso de pernos conectivos, clavos, materiales de soldadura o adhesivos para realizar el sello.

El sello se logra mediante la conversión de energía eléctrica de alta frecuencia a movimiento mecánico de alta frecuencia. Este movimiento mecánico, junto con la fuerza aplicada, crea calor por fricción en las superficies de contacto de los componentes plásticos de manera que el material plástico se fundirá y formará una unión molecular entre las superficies de sellado.

La parte soldable del tubo de pasta de dientes se intercala entre un nido de forma fija, denominado yunque y un sonotrodo que va conectado a un transductor. La función del sonotrodo consiste en aplicar vibraciones ultrasónicas al material a través de un elemento de trabajo en forma de punta, que varía dependiendo la superficie que se quiera sellar. La forma del sonotrodo se mecaniza para lograr que la frecuencia de resonancia del sonotrodo corresponda a la del amplificador, la cual generalmente se ajusta un 5% por debajo de la frecuencia del generador con el fin de obtener buenos resultados, incluso mejores que a su frecuencia base. El material normalmente utilizado para los sonotrodos es el titanio aunque en algunos casos se emplea aluminio. La función del transductor piezoeléctrico o convertidor es la de convertir la señal eléctrica en una vibración mecánica. El Booster modifica la amplitud de vibración y a veces se utiliza en los sistemas estándar para sujetar la pila en la prensa. Este proceso también dispone de una prensa para poner las dos piezas a soldar bajo presión.

El conjunto formado por el yunque, el sonotrodo y el convertidor constituyen la pila de ultrasonidos y están sintonizados específicamente para resonar a la misma frecuencia ultrasónica. Dicho conjunto va conectado a una fuente de alimentación, concretamente un generador electrónico de ultrasonidos, que entrega una señal de corriente alterna de alta potencia con una frecuencia normalmente entre 50 y 60 Hz que va emparejada con la frecuencia de resonancia de la pila. (Telsonic, 2016).

Ilustración 5: Esquema gráfico de las operaciones del sellado por ultrasonido.



(Tecnología de plásticos, 2016)

3.4 Sellado por cinta adhesiva

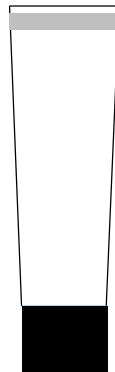
El sellado por cinta adhesiva es un proceso propuesto como alternativa a los existentes. El proceso consiste en colocar una cinta adhesiva, como propiamente indica su nombre, en la superficie de sellado. El conjunto cinta adhesiva y superficie de sellado se verá sometido a una cierta presión con el fin de realizar el sello al envase.

Primero se coloca la cinta adhesiva entre las dos láminas del tubo de pasta de dientes en una posición que estará predeterminada, con el fin de aprovechar al máximo el material y por lo tanto, reducir los costes que no generan valor al producto. Una vez colocada la cinta adhesiva con el uso de una prensa se aplicará presión durante un tiempo previamente establecido. Una vez aplicada la presión necesaria se dejará reposar el sello durante unos minutos hasta que el adhesivo se quede completamente fijado a las superficies de sellado consiguiendo así un sello hermético. Se hará uso de una prensa sencilla, ya que lo único que se necesita es aplicar una fuerza perpendicular a las superficies de sellado.

Después de realizar un estudio de comparación de adhesivos, podemos determinar que la cinta adhesiva que se va a utilizar es LOCTITE EA 9480 ya que es un adhesivo epoxi bicomponente aprobado para su uso en la industria alimentaria. La compatibilidad del adhesivo con la industria alimentaria es un factor muy importante porque se necesita que el sello no tenga químicos añadidos ya que podría contaminar el producto del envase. Otra cualidad de la cinta adhesiva es que puede sellar superficies tanto metálicas como plásticas. Gracias al empleo de estas cintas adhesivas se conseguirá un sello tenaz y con muy buena resistencia química.

En la ilustración 6 se ha representado un posible croquis del tubo de pasta de dientes a sellar y la posición en la que se añadiría la cinta adhesiva. Esta posición la estudiaremos antes de empezar el proceso y estará estratégicamente determinada.

Ilustración 6: Croquis de la geometría de la cinta adhesiva



Fuente: Elaboración propia.

4 COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE SELLADO

En este apartado se compararán los procesos anteriormente expuestos con el fin de determinar cual de ellos es el proceso óptimo para el sellado de tubos de pasta dental. Se realizarán dos tipos de comparaciones; en la primera se hará un estudio donde se determinará si los procesos seleccionados se pueden poner en práctica y si son compatibles para el tipo de envase utilizado. En la segunda comparación se pondrán en común las cualidades de cada proceso con el objetivo de contrastarlas y compararlas para llegar a encontrar el óptimo . Para realizar la segunda comparación se tendrán en cuenta diversos parámetros como por ejemplo la temperatura, la presión o la energía electromagnética empleada entre otros. Estos parámetros irán variando según el tipo de proceso ya que cada uno usa una técnica determinada para llevar a cabo el sello.

4.1 Estudio de compatibilidad

El proyecto únicamente se focaliza en el proceso de sellado de tubos plásticos de pasta de dientes, por lo tanto, con los diversos procesos escogidos se hará un estudio para determinar si el proceso es aplicable al tipo de envase utilizado.

Los tubos de pasta dental estandarizados tienen una composición de un 75% de plástico (normalmente Polietileno) y un 25% de aluminio en el revestimiento interior, aunque se han visto anteriormente tubos de dentífrico hechos de materiales metálicos como es el caso de aluminio, aunque tienen un mayor coste económico.

Por lo que respecta al proceso del termosellado, el cual consiste en realizar una soldadura entre un material termoplástico y otro termoplástico u otro material con propiedades compatibles donde la soldadura o el sello se realiza mediante presión y calor. Dentro de este proceso hay distintos procesos derivados, entre ellos el sellado por barra caliente y el sellado por inducción que son los escogidos para este proyecto ya que son los únicos que se focalizan en el sellado de envases. El sellado por barra caliente cumple con todos los requisitos que se necesitan para realizar el sello, es decir, es un proceso que utiliza una técnica basada en la presión y el calor donde los materiales que se emplean para fabricar el tubo de pasta dental pueden trabajar bajo esas condiciones. Otro factor a destacar es que este tipo de proceso no utiliza ningún material nocivo ni tóxico para realizar el sello. En cambio, el sellado por inducción es un proceso aplicado a tipos de envases donde el sello se produce por la tapa del envase, como por ejemplo todo tipo de botellas. Este proceso consiste en hacer pasar el

objeto a sellar junto con un cierre de plástico que contendrá un revestimiento de aluminio, por debajo de una máquina selladora que actúa por inducción. La finalidad de aplicar el revestimiento de aluminio es que luego la energía electromagnética se transmitirá desde el cabezal de sellado y provocará que se caliente el revestimiento con el fin de soldarlo al cuello del envase. Por lo tanto si se aplica a un tubo de pasta dental, se tendría que cambiar la geometría del envase para poder utilizar este proceso. Cambiar el envase de la pasta dental supone una pérdida de tiempo en el diseño del envase ya que la geometría en forma de tubo es mucho más práctica en cuestiones de sacar la pasta del envase debido a que con un tubo, solo se tiene que apretar el envase para sacarla y si se tuviese un envase parecido a una botella, para poner un ejemplo, se tendría que coger el producto del interior del envase y no resultaría muy práctico. También supondría una pérdida económica ya que significaría diseñar nuevas matrices aplicables a este nuevo tipo de envase. Con estos datos se descartaría el sellado por inducción como proceso seleccionado para encontrar el óptimo.

El Seaming es un proceso que se emplea únicamente para envases de materiales metálicos lo que implica que no se podría aplicar a envases de plásticos ya que se utilizan dos punzones que realizan una doble costura mediante presión. Por lo tanto, la resistencia, la dureza, la elasticidad y la plasticidad desarrolladas por los materiales metálicos no son comparables con lo que soportaría un material plástico. Además en el Seaming, para acabar de realizar el sello se usa un elemento termoplástico que se funde entre las dos costuras con el fin de rellenar los espacios que han quedado durante el proceso de sellado. Por lo tanto si el material del envase fuera de plástico, no se podría añadir esta pieza termoplástica ya que en el momento de calentarla a una temperatura considerablemente alta, se acabaría fundiendo el envase entero.

Con el fin de justificar la especificación básica de trabajar con envases plásticos, se concluye que los tubos de pasta dental metálicos presentan muchas problemáticas tales como; no son envases prácticos para manejar, es un material que se oxida con facilidad y también es común cortarse con el propio envase. El tubo de aluminio muestra muchos inconvenientes en el usuario, ya que este provoca dificultades de almacenaje y se muestra ergonómicamente insatisfactorio en el uso manual y en la obtención de la pasta dental. Cuando se presiona para extraer la pasta dental, la fuerza no es proporcional a la pasta que sale ocasionando que la mayoría de veces salga más pasta dental de la demandada haciendo que se desperdicie. Si el envase es de laminados plásticos facilita el uso y el almacenamiento, ofrece una mejor prestación, es práctico y no

se oxida. Con el tubo de plástico Polietileno (PE), al ser más flexible, la fuerza que realiza al sacar la pasta dental es proporcional a la que sale. Este hecho supone un punto a favor, ya que se controla la cantidad de pasta dental que se desea. Si se plantea la posibilidad de hacer los tubos de aluminio, se apreciaría el inconveniente de tener un alto impacto medioambiental ya que tiene problemas de acidificación, lo cual implica que se puede acumular en las plantas perjudicándolas como también se perjudican a los animales que consuman estas plantas. El aluminio al ser soluble en agua puede causar efectos perjudiciales, ya que al usarse como un elemento de aseo, está siempre en contacto con el agua. Es importante que el material que se emplee para la fabricación de los tubos tiene que ser respetuoso con el medio ambiente además de reciclable. Es por esta razón que el PE es el material escogido porque es reciclable y se puede volver a fundir para ser reciclado derivando en productos finales como por ejemplo para la fabricación de bolsas de residuos.

Respecto al sellado por ultrasonido, provoca la fusión local del plástico debido a la absorción de la energía de vibración. Este tipo de sellado es comúnmente utilizado en procesos industriales ya que no introduce contaminantes, evita la degradación del sello y no interfiere en la biocompatibilidad de las piezas. Por lo tanto, aumenta la calidad de la pieza y disminuye los costes de producción. Estas propiedades resultan muy positivas ya que el proceso óptimo requiere de un bajo coste de sellado y un buen resultado de sellado. Como se ha especificado anteriormente, este proceso de sellado es totalmente compatible con productos plásticos y de espesor regulable; ya que si se trabaja con elementos gruesos se necesitaría aplicarle al generador de frecuencia, que viene incorporado en el equipo de ultrasonido, un valor de 20 Hz. En cambio, si se trabaja con productos de espesor fino como en este caso se aplicará una frecuencia de 40 Hz. Este tipo de soldadura se utiliza a menudo para construir conjuntos que son o demasiado pequeños, complejos o delicados para las técnicas de soldadura más comunes, aunque en este proyecto se aplicará para los tubos de pasta dental con el fin de analizar sus características de sellado y poder concluir si puede ser un proceso óptimo para los tubos de pasta dental o no. Para acabar, podemos concluir que este proceso cumple con las restricciones y requerimientos básicos establecidos previamente, por lo tanto, se puede considerar como compatible para el tipo de envase analizado en este proyecto.

Finalmente, el último proceso restante para estudiar su compatibilidad es el sellado por cinta adhesiva. Como se ha dicho anteriormente, este tipo de proceso es una propuesta de metodología alternativa distinta a lo ya empleado en la industria del sellado. Al haberse diseñado el proceso ya sabiendo cuales son las restricciones, no se llega a descartarlo como proceso no compatible en esta primera fase del estudio. Este tipo de proceso engloba tanto a envases para pasta dental de materiales metálicos como envases plásticos ya que la cinta adhesiva que se empleará se adhiere a ambas superficies. El proceso consiste, básicamente, en emplear una cinta adhesiva en el tubo de pasta de dientes que mediante presión se adhiere a la superficie de sellado. En la fase anterior a este apartado, es decir en el diseño de este proceso, ya se ha tenido en cuenta que el pegamento o resina utilizada no deberá contener químicos que sean nocivos para la salud humana ya que si se realiza un mal sello y este pasa desapercibido por el control de calidad, esta resina podría estar en contacto con la pasta dental y por lo tanto, si se utilizara cualquiera otro pegamento podría suponer graves repercusiones. De manera que al utilizar la resina compatible con la industria alimentaria y poderla aplicar tanto a plásticos como a metales, se puede concluir que este tipo de proceso será compatible con el envase plástico de pasta dental.

4.2 Estudio de parámetros de cada proceso

Una vez pasado el control de compatibilidad quedarán tres procesos; el sellado por barra caliente, el sellado por ultrasonido y el sellado por cinta adhesiva. De cada uno de estos procesos se estudiarán los parámetros que influyen en la realización del proceso y se tabularán para poder hacer una estimación de sus parámetros de ejecución tales como; el número de máquinas que se van a utilizar o el tiempo empleado en la ejecución del sello entre otros.

Actualmente los tubos de pasta dental están fabricados por plásticos laminados y el más común es el Polietileno. Se utiliza el PE ya que es uno de los plásticos más comunes debido a su bajo precio y su simplicidad en su fabricación. El PE también se caracteriza por ser reciclable y por tener una excelente resistencia química. Otras propiedades destacadas son; la gran resistencia del material al choque y a la flexión, buenas propiedades de deslizamiento y un escaso desgaste. (Tecnología de plástico, 2016).

A continuación se adjuntará una tabla con las propiedades mecánicas del polietileno:

Tabla 1: Propiedades mecánicas PE.

PROPIEDADES	POLIETILENO
Densidad (Kg/m ³)	960
Resistencia a la tracción (Kg/cm ²)	250
Elongación (%)	50-800
Modulo de elasticidad (Kg· cm ²)	3.5 A 13·10 ³
Dureza	D 70/80
Resistencia al impacto (ft. lb/in)	0,5 - 20
Absorción a la humedad 23°C a 60% (%)	0,2
Temperatura de trabajo (°C)	80 - 110

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de:
<<http://www.inoxidable.com/propiedades1.htm>> [consulta: 1 Abril 2016]

Por lo tanto se trabajará con tubos de PE en todos los procesos de sellado. Para poder estudiar los parámetros se necesita saber el rango de dimensiones de los tubos de pasta dental con los que se puede trabajar.

Se ha realizado un estudio de las dimensiones de los distintos envases de pasta de dientes disponibles en el mercado. A continuación se adjuntará una tabla con el rango de valores de las dimensiones de tubos de pasta de dientes con los que se trabajará.

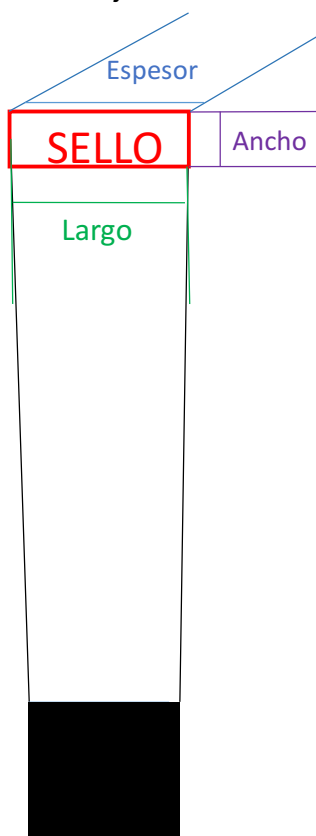


Tabla 2: Rango de valores para las dimensiones de tubos de pasta de dientes

Volumen envase (ml)	75-100
Diámetro del sello (cm)	4-6
Ancho del sello (cm)	0,5-1
Espesor del sello (mm)	1-1,5

Fuente: Elaboración propia.

Para poder hacer esta estimación se tendrá en cuenta el volumen de producción por año de los tubos de pasta de dental, ya que será un dato bastante influyente para determinar el óptimo. Una muy buena aproximación es que cada 2 segundos se fabrica un tubo de pasta dental, utilizando una media de 24 horas de trabajo al día (3 turnos de 8 horas) y unos 250 días al año resulta un total de 10.800.000 tubos/año.

En este apartado también se especificará el modelo de máquina que se va a utilizar para facilitar la determinación de los parámetros y obtener una aproximación más precisa a la realidad.

4.2.1 Sellado por barra caliente

Los parámetros a estudiar en el sellado por barra calientes son: la **temperatura** de las barras, el **espesor** de sellado y el **tiempo** de sellado. Los tres parámetros están directamente relacionados entre ellos ya que si el tubo tiene unas dimensiones mayores de las de los tubos de pasta de dientes estandarizados, la distancia entre las barras de sellado también tendrá que ser mayor e implicará un mayor tiempo de sellado y una temperatura más elevada.

Las propias barras disponen de una gran capacidad de calentamiento y enfriamiento extremadamente rápida para optimizar los tiempos de proceso. La temperatura de las barras calientes se mantendrá constante a lo largo del sellado. En este proyecto se trabajará con tubos de pasta de dientes de PE.

Como selladora por barra caliente para el proceso se ha seleccionado una termoselladora proporcionada por la empresa FERPLAST, especialistas en termoselladoras y otros productos, concretamente el modelo SI 1020 con doble barra de sellado de 5 mm. La termoselladora es de acero inoxidable industrial ideal para sellados de envases de comida, medicina y electrónica entre otros. Dentro de los materiales termosellables con los que la máquina puede trabajar está el LDPE-HDPE (Polietileno de baja densidad – Polietileno de alta densidad) los cuales interesan ya que los tubos de pasta dental que se tratarán en este proyecto vendrán fabricados de este material. El sello se realiza por impulsos con un control de la temperatura por Ropex, que viene incorporado en la selladora.

A continuación se adjuntará una tabla con todos los parámetros técnicos de la selladora.

Tabla 3: Especificaciones técnicas de la termoselladora.

MODELO	SI 1020
Longitud barra de sellado	1020 mm
SI ancho soldadura	5 mm
SI-MED ancho soldadura	8 mm
Max espesor soldable	0,25 mm (1,5 mm)
materiales soldables	Inox
Operación	neumática
Presión aire comprimido	6 bar
Alimentación	220V
Potencia	1500W
Dimensiones sólo cabeza	1110x486x232 mm
Peso sólo cabeza	37 Kg

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de:
< <http://www.fer-plast.com/index.php/> > [consulta: 20 Abril 2016]

Según los valores expuestos en la tabla superior, se puede concluir que el máximo espesor del sello será de 0,25 mm pero después de contactar con la empresa vía e-mail, se ha determinado que este espesor es variable y solamente cambiando las especificaciones técnicas de la máquina, el espesor de la parte selladora se puede ampliar hasta un máximo de 1,5 mm. Como se ha comentado anteriormente, se utilizarán envases de pasta dental fabricados de PE. El punto de fusión de este tipo de plásticos se sitúa entre un rango de 120-130 °C (393,15- 403,15 K). Por lo tanto se trabajará a temperaturas inferiores ya que no se quiere fundir del todo el plástico sino calentarlo hasta una temperatura que facilite el trabajo y el manejo del envase y así, posteriormente, refrigerarlo para obtener un buen sellado.

Con respecto al tiempo de sellado, para un espesor de 1,5 mm este es aproximadamente de 6 segundos para el PE sin tener en cuenta el tiempo que estará el envase por la cinta transportadora. Esto supone que si se quiere una fabricación de 1 tubo cada 2 segundos se tendrá que trabajar con 3 termoselladoras de este modelo en paralelo con el fin de llegar al valor de

producción fijado. En cambio, si el espesor se va reduciendo, el tiempo disminuye y el número de máquina a emplear también. A continuación se adjuntará una tabla que definirá las variables de este tipo de sellado y los valores a programar a la máquina para obtener un buen sellado:

Tabla 4: Variables del sellado por barra caliente.

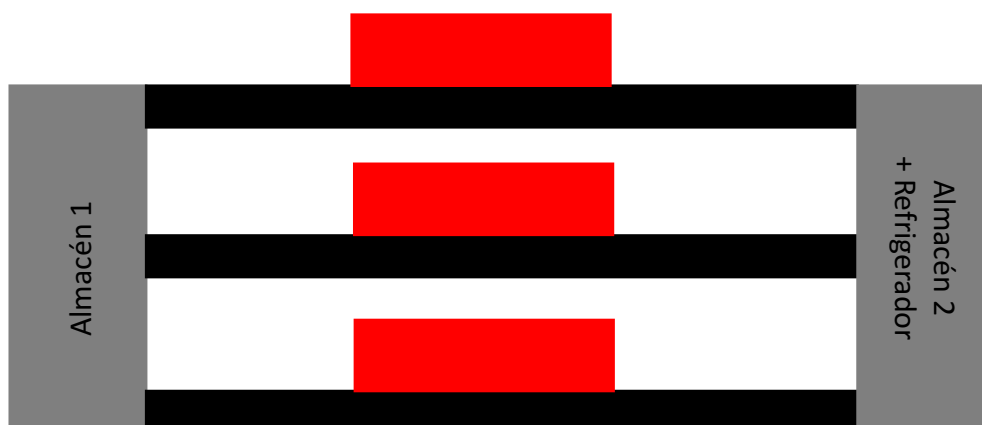
Espesor sello (mm)	Temperatura barras (°C)	Tiempo sellado (segundos)	Total máquinas (número)
1	75	4,00	2,00
1,1	76	4,40	2,20
1,2	77	4,80	2,40
1,3	78	5,20	2,60
1,4	79	5,60	2,80
1,5	80	6,00	3,00

Fuente: Elaboración propia.

Al haberse realizado los cálculos con Microsoft Excel se tendrá un valor aproximado de decimales de cuantas máquinas se necesitarían para nuestro proceso; aunque en vez de aproximar truncando los valores, se aproximará a la alza ya que se está hablando de máquinas y si no se tienen las necesarias no se podrá cumplir con el total de producción establecido. Por lo tanto se extrae que para un espesor de 1 mm se necesitarán 2 termoselladoras en paralelo, en cambio, para espesores que van desde 1,1 a 1,5 se hará uso de 3 selladoras por barra caliente.

A las termoselladoras se les acoplará una cinta transportadora donde los envases de pasta dental serán transportados hasta su selladora térmica correspondiente. Se tendrá una cinta transportadora común que llevará todos los envases a sellar, la cual se dividirá en tantos caminos como cintas transportadoras acopladas a su termoselladora correspondan. Las termoselladoras estarán expuestas en paralelo ya que es una manera de agilizar la producción. La cinta se situará justo debajo de las termoselladoras con el objetivo de que el envase de pasta dental venga posicionado verticalmente para que el producto interior del envase no se vierta. Estas cintas serán tendrán unas dimensiones lo más pequeñas posibles para así optimizar la producción y no perder tiempo en el transporte de los envases. A continuación se mostrará un croquis manual de cómo sería esta línea de producción en el caso de usar 3 selladoras, aunque si se variara el número de máquinas el esquema continuaría siguiendo el mismo patrón:

Ilustración 7: Diseño de línea de producción de 3 termoselladoras.



Fuente: Elaboración propia.

En el esquema se ha representado, de color gris, dos almacenes donde el número 1 contendrá los tubos de pasta de dientes rellenos, con el tapón puesto pero no sellados y en el almacén 2 ya habrán pasado por la termoselladora y pasarán por un proceso de refrigeración. En rojo se indica las termoselladoras, que según sus especificaciones técnicas son semiautomáticas ya que contarán con la presencia de un operario en cada selladora.

4.2.2 Sellado por ultrasonido

Los parámetros a estudiar en el sellado por ultrasonido son: La **frecuencia** de las vibraciones acústicas, el **espesor** de sellado y el **tiempo** de sellado. Las tres variables están directamente relacionadas.

La selladora escogida viene proporcionada por la empresa Shenzhen Hengxing exactamente de la gama de HX MACHINE el modelo HX-007. Es aplicable para sellados de envase de pasta de dientes, productos de cosmética, fármacos y alimentos entre otros. La máquina está hecha de una aleación de aluminio y acero inoxidable, caracterizada por la facilidad que proporciona tanto en su manejo como en su mantenimiento. La plataforma de trabajo que ofrece es fácil de operar ya que únicamente un operario ha de introducir el envase en su sitio correspondiente para ser sellado y la máquina durante el sellado tiene un funcionamiento independiente. El posicionamiento del tubo de pasta dental, la soldadura, el corte y el recorte se hace de una sola tirada y todas las funciones son automáticas.

El ultrasonido son ondas mecánicas, es decir no ionizantes, cuya frecuencia está por encima del umbral de audición del oído humano (aproximadamente 20.000 Hz). La potencia de salida del ultrasonido es lo suficientemente grande como para asegurar la calidad de sellado de materiales de diferentes tipos y especificaciones de tubos suaves. La frecuencia ultrasónica cumple con la norma internacional, que indica que no es perjudicial para el ser humano o para el medio ambiente. Para que se acabe de realizar el sello de tubo ultrasónico se necesita invertir tiempo, no calor.

Tabla 5: Especificaciones técnicas de la selladora por ultrasonido.

Modelo	HX-007
Fuente de alimentación	AC220V/50Hz
Energía ultrasónica	1500 W
Frecuencia	20 KHz
Longitud del tubo	50-250mm
Diámetro del tubo	10-50mm
Peso normal	98kgs
Potencia	1500 W
Tamaño de la máquina	850 × 600 × 650mm
Tipo de transmisión	Neumática
Grado automático	Semi-automático
Aplicaciones	Tubos de plástico y/o aluminio

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de: <
www.szhxmc.com/en/> [consulta: 27 Abril 2016]

Como se puede observar en la siguiente ilustración, el tubo de pasta dental está colocado verticalmente para evitar que durante el proceso de sellado se pueda llegar a verter el producto interior. Esta posición la puede adquirir gracias a que posee un cilindro que sujeta el envase y lo transporta a la parte donde se realiza el sello. En esta etapa, primero de todo la propia selladora lleva incluido un detector de orientación del envase. En segundo lugar se realiza el sello ultrasónico, la impresión de la fecha y el recorte al mismo tiempo. Una vez realizadas estas operaciones, el envase sellado sale de la máquina con el cilindro transportador y el operario coge el envase y lo coloca junto a los otros ya sellados.

Ilustración 8: Máquina de sellado HX-007.



(Shenzhen Hengxing, 2016)

El tiempo de sellado para un espesor de 1,5 mm es aproximadamente de 4 segundos para el PE, teniendo en cuenta el recorte del material sobrante. Por lo tanto si se quiere una fabricación de 1 tubo cada 2 segundos se tendrá que trabajar con 2 termoselladoras de este modelo en paralelo con el fin de llegar al valor de producción fijado. En cambio si el espesor se va reduciendo el tiempo disminuye al igual que también se reduce el número de máquinas a emplear .

Tabla 6: Variables del sellado por ultrasonido.

Espesor sello (mm)	Frecuencia ultrasonido (KHz)	Tiempo sellado (segundos)	Total máquinas (número)
1	15	2,67	1,33
1,1	16,5	2,93	1,47
1,2	18	3,20	1,60
1,3	19,5	3,47	1,73
1,4	21	3,73	1,87
1,5	22,5	4,00	2,00

Fuente: Elaboración propia.

Al haberse realizado los cálculos con Microsoft Excel tenemos un valor aproximado en decimales de cuantas máquinas se necesitarían para este proceso; aunque en vez de aproximar truncando el valor, se aproximará a la alza ya que se está hablando de máquinas y si no se tiene las necesarias no se cumplirá con el total de producción establecido. Por lo tanto para cualquier espesor de sellado necesitaremos 2 termoselladoras dispuesta en paralelo.

La línea de producción constará de las máquinas necesarias dispuestas en paralelo con el fin de agilizar la producción. Al ser semiautomática se necesitará un operario que introduzca el envase a sellar en la guía y accione un botón que conlleva que el envase corra a través de la guía hasta llegar al sonotrodo. Posteriormente se realiza el sello ultrasónico, la impresión de la fecha y el recorte.

Los beneficios de la soldadura por ultrasonidos son los siguientes; es un proceso mucho más rápido que los adhesivos o disolventes convencionales, el tiempo de secado es muy rápido y las piezas no tienen que permanecer en una guía o en la cinta transportadora durante largos períodos de tiempo en espera de la articulación para secar o curar.

4.2.3 Sellado por cinta adhesiva

Los parámetros a estudiar en el sellado por cinta adhesiva son: La **posición** donde se emplea la cinta adhesiva, la **velocidad** de secado, la **presión** a la que se someterá el envase a sellar y el **tiempo** de sellado.

En primer lugar, se añadirá durante el proceso una fina capa de LOCTITE EA 9480 en el envase de pasta dental. Tal y como indica su ficha técnica que vendrá adjuntada en los anexos del proyecto, este pegamento tiene un aspecto resinoso parecido a una especie de crema blanca y consta de dos componentes; la resina y el endurecedor. Sin embargo, tiene una velocidad de secado baja, aunque, una vez secado, tiene buena resistencia química. Principalmente se utiliza para ensamblar piezas de metal y / o plástico en máquinas de procesamiento y envasado de alimentos. Para estas aplicaciones, el adhesivo está situado entre los materiales adherentes. Básicamente se ha escogido este tipo de pegamento ya que es compatible con la industria alimentaria y farmacéutica. Ha sido aprobado de acuerdo con los requisitos de la Directiva de la UE 2002 Plásticos / 72 / CE, y ha sido certificado por un instituto independiente de pruebas para cumplir requisitos del artículo 3 (1ª) del

Reglamento Marco de la UE N° 1935/2004 del contacto accidental con alimentos. (Loctite, 2016).

Por lo que hace la posición donde se emplea la resina, si el sello normalmente tiene un ancho de entre 0,5-1 cm y de largo entre 4-6 cm se colocará el pegamento de manera que se aproveche al máximo el material del envase utilizando la superficie necesaria de pegamento para que se produzca un sello hermético. Generalizando, la superficie donde irá el pegamento se reducirá en un 30% respecto a la superficie del sello con el objetivo de que al prensarlo para crear el sello, el pegamento resinoso se quede estático en medio de la superficie de sellado. Esto es debido a que si se añade más pegamento de la cuenta se tendría que detener el proceso ya que este envase no sería válido para la venta al público. A continuación se adjuntará una tabla en la que se define por cada medida del rango de valores predeterminados, donde se tendría que aplicar este pegamento, especificaciones que serían las instrucciones que se tendrían que programar en la máquina de sellado.

Ilustración 9: Croquis del sello con su sistema de coordenadas.

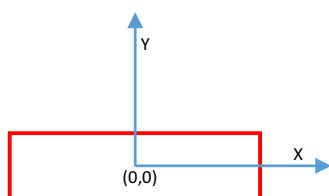


Tabla 7: Determinación de la posición en y del pegamento.

Ancho (y)	Reducción	Coordenadas en y
0,5	0,35	(- 0.325, +0.325)
0,6	0,42	(-0.39, +0.39)
0,7	0,49	(- 0.455, +0.455)
0,8	0,56	(- 0.52, +0.52)
0,9	0,63	(- 0.585, +0.585)
1	0,7	(- 0.65, +0.65)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Determinación de la posición en x del pegamento.

Largo (x)	Reducción	Coordenadas en x
4	2,8	(- 2.6, +2.6)
4,1	2,87	(- 2.665, +2.665)
4,2	2,94	(- 2.73, +2.73)
4,3	3,01	(- 2.795, +2.795)
4,4	3,08	(- 2.86, +2.86)
4,5	3,15	(- 2.925, +2.925)
4,6	3,22	(- 2.99, +2.99)
4,7	3,29	(- 3.055, +3.055)
4,8	3,36	(- 3.12, +3.12)
4,9	3,43	(- 3.185, +3.185)
5	3,5	(- 3.25, +3.25)
5,1	3,57	(- 3.315, +3.315)
5,2	3,64	(- 3.38, +3.38)
5,3	3,71	(- 3.445, +3.445)
5,4	3,78	(- 3.51, +3.51)
5,5	3,85	(- 3.575, +3.575)
5,6	3,92	(- 3.64, +3.64)
5,7	3,99	(- 3.705, +3.705)
5,8	4,06	(- 3.77, +3.77)
5,9	4,13	(- 3.835, +3.835)
6	4,2	(- 3.9, +3.9)

Fuente: Elaboración propia.

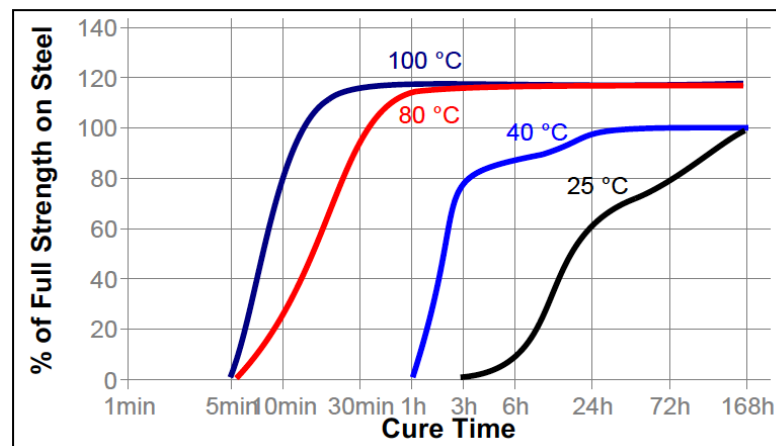
Como se puede observar dependiendo de la superficie de sellado se colocará la resina en una posición u otra, siguiendo las tablas adjuntadas anteriormente. Se colocará una capa muy fina de resina ya que al tener una velocidad de secado baja, si se le añade cantidades superiores a las demandadas, la velocidad de secado aumentará.

Respecto a la línea de producción, constará de una máquina que tendrá dos funciones: colocar el pegamento y sellar el envase. La primera función se llevará a cabo mediante unas placas con detectores de posición, que detectarán las dimensiones del sello y localizaran las coordenadas indicadas en la tabla

superior para cada superficie de sellado. En la superficie detectada aplicarán, mediante una especie de pincel acoplado a la placa, una fina capa de resina. Una vez aplicado el pegamento, el conjunto envase-resina irá a parar a una prensa que le proporcionará una fuerza determinada con el fin de producir el sello y posteriormente se pasará a la zona de secado donde el envase reposará, dejará que la resina actúe e irá cogiendo resistencia.

Después de determinar el parámetro de la posición donde se empleará la cinta adhesiva, se proseguirá a determinar la velocidad de secado de la resina. A continuación, se mostrará un gráfico expuesto en la ficha técnica de la resina que determina la resistencia a la rotura del material desarrollada durante un determinado tiempo y aprobado por la normativa ISO 4587. Este gráfico se emplea para medir las propiedades comentadas, en placas planas de acero dulce, las cuales se cogerán como referencia independientemente de que no se trabaje con el material especificado en el gráfico. Ya que no se disponer de la información necesaria sobre la velocidad de curado de esta determinada resina en compuestos plásticos.

Tabla 9: Relación entre el tiempo de curado (x) y % de resistencia total del acero (y).



Fuente: Ficha técnica LOCTITE EA 9480

A partir de este gráfico se puede determinar que el tiempo que se tiene que emplear para que el sello obtenga la resistencia máxima y como consecuencia realizar un sello hermético e inviolable, es extremadamente grande en comparación con los otros procesos. Este hecho es consecuencia de que el tiempo de curado se mide en minutos o horas mientras en los otros procesos se realiza en segundos. El gráfico expone que como más temperatura se le aplique a las placas antes se llegará a la resistencia máxima.

Al principio de este apartado, se ha marcado un valor de producción de envases de pasta dental y aunque se aplique la máxima temperatura con la que se puede trabajar, la magnitud de tiempo que se necesita para crear el sello es excesiva y por lo tanto, como consecuencia directa no saldría rentable hacer este tipo de proceso para envases de pasta dental.

Se tendría que acabar de definir los otros parámetros que se han decidido para este proceso pero al observar que la velocidad de curado es tan lenta, este proceso deja de estar entre los candidatos al proceso óptimo para sellos en tubos de pasta de dientes.

4.3 Comparación económica y medioambiental de los procesos

Finalmente después de hacer pasar, los distintos procesos de sellado, por varios filtros, únicamente se proseguirá a evaluar: el sellado por ultrasonido y el termosellado, concretamente el sellado por barra caliente.

En este apartado se realizará una comparación económica de los costes totales asociados a cada proyecto y un estudio, para cada proceso, de los principales contaminantes del medioambiente.

4.3.1 Análisis de costes de cada proceso

En este apartado se analizará la viabilidad económica de los procesos de sellado en un periodo de tiempo de 15 años. Se tendrá que crear una situación hipotética, ya que una viabilidad económica solo se puede implementar en una empresa y este proyecto únicamente detalla procesos. Por lo tanto se asume que una empresa ficticia está evaluando distintas maneras de sellado y quiere ver cual de ellas les resulta más económica. Con respecto a las etapas anteriores al sellado, también las realiza la empresa aunque la viabilidad solamente contempla el sellado ya que no se tienen referencias de los costes de las etapas anteriores. Por lo tanto los ingresos y la inversión inicial únicamente englobarán el proceso de sellado.

Se analizarán tanto los costes totales del sellado por barra caliente como los costes totales del sellado por ultrasonido. Se partirá de una inversión inicial que engloba:

- Coste de la infraestructura utilizada
- Coste del transporte de las mercaderías
- Coste de la mano de obra

Los costes referentes al transporte de mercancías, es decir, de los tubos de pasta dental, y la mano de obra incluidos en la inversión inicial son para un periodo de tiempo de un año.

Se distinguirá entre costes fijos y variables. Los primeros son aquellos que abarcan la infraestructura que se utiliza para realizar el proceso, los gastos de personal (3 turnos de 8h y 3 operarios para cada turno), las licencias de alquilar una nave industrial donde desarrollar la cadenas de producción de tubos de pasta dental, el mantenimiento de la nave (infraestructura, limpieza, transporte), la amortización de la infraestructura, el seguro (es el 0,5 % de la inversión inicial), y las tasas adjuntadas (es el 3 % de la inversión inicial). En cambio los costes variables, son aquellos que dependiendo de la actividad industrial aumentarán o disminuirán. Por lo tanto se incluyen dentro de dichos gastos el transporte de los tubos, ya que se contratará una empresa transportista que recogerá los envases de pasta dental y los transportará hasta los establecimientos de venta previamente acordados. También se incluyen los gastos técnicos tales como la electricidad y el agua utilizados para ejecutar el proceso de sellado.

Una vez calculados los costes fijos y los variables se calcularán los gastos totales que son la suma de ambos costes. También se proseguirá a calcular los ingresos totales, que serán resultado de un producto entre la producción total de tubos anual, explicada en los apartados anteriores por el precio unitario de venta del tubo, 0,25 euros, aunque únicamente este precio engloba el proceso de sellado. El coste total de la producción es de 2,13 euros ya que en este coste ya vienen incluidos los costes referentes a la producción del tubo y del llenado de pasta. Este coste de venta se ha determinado mediante un estudio de mercado de las distintas marcas que producen envases de pasta dental.

Luego se calculan los beneficios que son la diferencia entre ingresos y gastos. Una vez calculados también se tendrá que calcular los flujos de caja que vienen proporcionados por la suma de los beneficios y la amortización. También se analizará el punto de equilibrio que consiste en las ventas mínimas que se tienen que realizar con el objetivo de obtener un beneficio de 0 euros y el Pay-Back que es el periodo en el que se recupera la inversión inicial. Finalmente, se calculará la tasa interna de rentabilidad y el valor actual neto, que son la media geométrica de los rendimientos futuros esperados de una inversión y el valor presente de un

determinado número de flujos de caja futuros originados por una inversión respectivamente.

A continuación se adjuntarán los documentos de Excel de manera resumida que calculan la viabilidad económica de cada proceso durante 15 años, aunque en la siguiente tabla se mostrarán los valores para el primer año. Las tablas reales se han adjuntado en el presupuesto del proyecto.

Tabla 10: Estudio de viabilidad económica del sellado por barra caliente.

GASTOS TOTALES (A+B) [€]	468.518,35
INGRESOS TOTALES [€]	2.700.000,00
Beneficios (Ingresos - Gastos) [€]	2.231.481,65
Flujo de caja (Ingresos- Gastos + Amortización) [€]	2.248.582,21
Punto de equilibrio	300.222,62
VAN	2.101.478,70
Total Van [€]	20.125.557,76
TIR	876,61%
Pay-Back	0,114

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11: Estudio de viabilidad económica del sellado por ultrasonido.

GASTOS TOTALES (A+B) [€]	406.093,33
INGRESOS TOTALES [€]	2.700.000,00
Beneficios (Ingresos - Gastos) [€]	2.293.906,67
Flujo de caja (Ingresos- Gastos + Amortización) [€]	2.306.840,00
Punto de equilibrio	258.666,67
VAN	2.155.925,23
Total Van [€]	20.742.512,59
TIR	1189,09%
Pay-Back	0,084

Fuente: Elaboración propia.

Observando los dos documentos de Excel se puede determinar que tanto los costes totales, los ingresos, los beneficios y el flujo de caja no varían muchos entre los dos procesos.

La mayor variación entre los costes se sitúa en los relacionados con la infraestructura para llevar a cabo el proceso. Se tiene que tener en cuenta que se han calculado los gastos utilizando 3 máquinas para el sellado por barra caliente y 2 máquinas para el sellado por ultrasonido. Con respecto a los precios de las selladoras, el precio unitario de la selladora por barra caliente es de 5.720 euros, en cambio el precio unitario de la selladora por ultrasonido es de 2.587 euros. Comparando ambos procesos, el sellado por barra caliente necesita una cámara de refrigeración por lo tanto esto supone que los gastos técnicos aumenten.

Viendo el resultado global de ambos planos de viabilidad se puede observar que el TIR es aproximadamente de 1000%, considerando este valor demasiado alto. Al tener una producción tan elevada en comparación con el precio unitario de producción del sello y el bajo precio de las selladoras provocan unos valores de beneficio, flujos de caja y VAN deseables. El Pay-Back está entre 30 - 40 días, hecho bastante improbable, pero en el caso de que se supieran todos los costes asignados al proceso de sellado del tubo de pasta dental con exactitud este valor aumentaría considerablemente.

Finalmente, el proceso más económico es el sellado por ultrasonido ya que se necesitan únicamente dos selladoras, una menos que en el otro proceso, para cumplir con la producción fijada y por lo tanto se necesita un operario menos en cada turno, lo cual provoca una disminución tanto de la inversión inicial como de los gastos directos. El precio de la selladora por ultrasonido es de casi la mitad que el de la termoselladora, por lo tanto esto también influye en que el proceso sea más económico.

4.3.2 Comparación medioambiental

En este apartado se realizará un estudio de como los procesos de sellado y los de envoltorio pueden afectar al medioambiente y a la salud humana. Se entiende por contaminación industrial, a la emisión de sustancias nocivas, tóxicas o peligrosas, que provienen de procesos industriales, al medio ambiente. Estas emisiones abarcan:

- Emisiones a la atmósfera
- Residuos en el entorno
- Vertidos a las redes públicas de saneamiento
- Vertidos directos al suelo o a cauces de aguas superficiales
- Almacenamiento o disposición de residuos industriales

Respecto al proceso de sellado por barra caliente, emite en pocas cantidades contaminantes primarios tales como el monóxido de carbono proveniente del calentamiento del plástico de los tubos de pasta dental. Estas emisiones pueden provocar alteraciones en el flujo sanguíneo y ritmo cardíaco, dolor de cabeza, vómitos o desmayos entre otros. Aunque al emitir una cantidad tan pequeña no es necesario el uso de instrumentos de protección para la salud humana. En el caso del sellado por ultrasonido el plástico también se funde pero de manera protegida por el propio mecanismo de la selladora por lo tanto las emisiones son aun más despreciables. También se tendrá que vigilar con las emisiones de CO₂ a la atmósfera emitidas durante todo el proceso de fabricación del tubo de polietileno, siempre respetando la legislación vigente de límite de emisiones y intentado reducirlas al máximo. Los envases de pasta dental están fabricados con compuestos plásticos elaborados con petróleo, por lo tanto, se podría evaluar la opción de fabricar los tubos de pasta de dientes con materiales biodegradables.

El termosellado consume una cantidad considerable de energía eléctrica que proviene de fuentes no renovables, la cual se podría sustituir por energía solar con el objetivo de preservar los recursos naturales y no dañar el medioambiente.

Haciendo referencia a los residuos emitidos por la empresa, siempre se gestionarán de manera responsable y protectora para el medioambiente respetando el Catálogo Europeo de residuos. Dichos residuos se generan en muchas etapas del proceso industrial sobre todo en el proceso de producción, concretamente en el sellado por ultrasonido, ya que una vez realizado el sello la propia selladora tiene la función de cortar el material sobrante del tubo. También se generan residuos en el transporte de los envases de pasta dental, en la limpieza y el mantenimiento de equipos y finalmente, en la depuración de aguas o gases emitidos.

La gestión del agua en las industrias está regulada mediante la declaración y uso de la contaminación del agua (DUCA). Hay unos límites de vertidos que se tienen que cumplir en todo momento. El sellado por barra caliente necesita el proceso de refrigeración para obtener un buen sello, por lo cual el agua que se utiliza se puede llegar a contaminar.

Por lo tanto siempre se evitarán las fugas de agua o las averías y se hará una gestión sostenible del agua. Se entiende por buena gestión el hecho de utilizar la cantidad necesaria para el proceso, ahorrando agua, depurándola y reduciendo la contaminación de esta.

No hay mucha diferencia entre las emisiones de el sellado por barra caliente y el sellado por ultrasonido, pero se considera que el termosellado es más dañino para el medio ambiente debido a su proceso de refrigeración que puede llegar a contaminar el agua y las emisiones emitidas por el calentamiento de los compuestos plásticos son mayores que en el sellado por frecuencia ultrasónica.

5 DETERMINACIÓN DEL PROCESO ÓPTIMO

En este apartado se llevará a cabo una comparación a nivel global de los procesos restantes: el sellado por barra caliente y el sellado por ultrasonido. Se realizará un balance de los aspectos positivos y negativos de ambos procesos con el fin de determinar cual de ellos es el óptimo.

En primer lugar se analiza el tiempo de sellado de cada proceso. La diferencia entre uno y otro es aproximadamente de 2 segundos, un periodo de tiempo casi despreciable en circunstancias normales pero muy valioso si se trata de tiempo ahorrado en una etapa de un proceso industrial. En el sellado por frecuencia ultrasónica se necesita una menor inversión de tiempo para realizar el sello y como consecuencia un menor número de selladoras. El ahorro en el tiempo del proceso supone un menor coste de producción. Reducir al máximo el coste de producción es un aspecto muy significativo en la industria ya que se puede llegar a ofrecer un producto de calidad invirtiendo la menor cantidad de dinero posible. Una forma de reducir los costes añadidos al proceso es aumentando la rigurosidad en los controles de calidad de las etapas del proceso y eliminando las actividades que generan poco valor.

A continuación se hará referencia a los mecanismos utilizados en ambos procesos de sellado. Por una parte, cuando el tubo de pasta dental finaliza el termosellado está estrictamente obligado a pasar por un proceso de refrigeración, donde el sello se fija herméticamente y las superficies de sellado recuperan su temperatura estándar. El mecanismo de refrigeración provoca que el tiempo del proceso aumente y por consiguiente, que los costes añadidos al proceso también aumenten. Por la otra parte, la selladora por frecuencia ultrasónica posiciona el tubo, realiza la soldadura, el corte y el recorte de forma automática e inmediata, lo cual ahorra tiempo de mano de obra y provoca un aumento en el coste total del proceso. En cambio, la termoselladora únicamente realiza el sello sin llevar a cabo dichas funciones asociadas aunque externas al sellado. En todo caso, este último punto tiene fácil solución cambiando la termoselladora por una más específica.

Cada proceso tiene asociado unas medidas de seguridad que tendrán que ser respetadas por los operarios implicados. Durante la ejecución del termosellado se necesita trabajar a temperaturas altas para facilitar el manejo del material lo que implica que el uso de guantes térmicos y gafas protectoras sea obligatorio para dichos operarios que intervengan en el sellado por barra caliente. Por lo que concierne al sellado por ultrasonido, este se caracteriza por ser un proceso

seguro, aun así, es obligatorio el uso de guantes de látex para evitar la contaminación del producto con el que se está trabajando. El operario únicamente acciona un botón y deja que la máquina realice sus funciones de forma independiente. Los únicos elementos de protección que comparten los operarios de ambos procesos son el calzado laboral certificado de seguridad y protección junto con el uniforme de trabajo.

Si se realiza una equiparación medioambiental, como en el apartado anterior, se llega a la conclusión de que el sellado por ultrasonido es ligeramente menos dañino para el medioambiente que el sellado por barra caliente. Aunque el impacto de uno sea débilmente superior al otro, esta pequeña reducción es muy importante ya que a diario tanto las industrias como las personas modifican el medio ambiente con las actividades que se llevan a cabo. Puesto que hay miles de millones de personas en el planeta y disponen de mucha tecnología, estas modificaciones pueden llegar a ser muy importantes y afectar, en general, a todos los ecosistemas. Las mejoras ambientales no sólo se pueden dar desde plataformas ambientales organizadas y fuertes, sino que las empresas podrían realizar pequeños cambios. Un posible cambio consistiría en evaluar los procesos utilizados, determinar cual de ellos tiene más impacto medioambiental y modificarlo por otro menos dañino con el objetivo de reducir sus emisiones contaminantes al máximo. Los pequeños cambios son poderosos puesto que pueden llegar a tener una influencia universal.

En conclusión, después de haberse realizado una comparación a nivel económico, medioambiental y técnico entre el sellado por barra caliente y el sellado por ultrasonido concluimos que el proceso que ofrece mejores prestaciones es el sellado por ultrasonido. Dicho proceso ofrece una misma calidad de producto que el termosellado, en un tiempo menor y con un impacto sutilmente menos perjudicial para el medioambiente.

6 DESARROLLO DE LOS ASPECTOS TEMPORALES

En este apartado se definirá de forma detallada el sellado por ultrasonido y las líneas futuras, es decir, la continuidad del proceso en el tiempo.

El sellado por frecuencia ultrasónica consiste en la unión de materiales termoplásticos mediante el uso del calor generado por el movimiento mecánico de alta frecuencia. Este proceso consta de 6 etapas, la primera de ellas consistente en colocar el tubo de pasta dental termoplástico a ensamblarse en un nido de apoyo. A continuación, un componente de titanio o aluminio, denominado sonotrodo, se pone en contacto con la parte superior del plástico y aplica una presión controlada al conjunto. El sonotrodo provoca la vibración vertical del conjunto a una frecuencia muy alta por segundo durante un periodo predeterminado de tiempo llamado tiempo de soldadura. Las vibraciones mecánicas se transmiten a través de los materiales termoplásticos a la interfaz de la junta para crear calor de fricción. Cuando se alcanza el punto de fusión en la interfaz de la junta, se funde el plástico, y se detiene la vibración. La fuerza de sujeción se mantiene durante una cantidad de tiempo determinada para permitir que el plástico fundido se enfríe y solidifique. Una vez el plástico fundido se ha solidificado, la fuerza de sujeción se retira y se extrae el tubo de pasta dental.

Con el objetivo de poder llevar a cabo este proceso, se haría uso de una parte de una nave industrial con unas dimensiones aproximadas de 10 m² ya que tiene que albergar las infraestructuras que se utilizan, las cuales son las selladoras por ultrasonido, las cintas transportadoras acopladas a las selladoras y un suministro de electricidad suficiente como para producir el accionamiento de las máquinas. La cinta transportadora tendrá una dimensiones de 0,4 m de ancho y 0,5 m de largo, con tal de agilizar la producción y reducir al máximo el espacio. Esta reducción repercute directamente a los costes fijos ya que si se reduce el espacio se reduce el alquiler de la nave industrial. Con respecto al suministro de electricidad se podrían implantar membranas solares en la cubierta de la nave con el fin de que absorban la energía solar y la transformen en energía eléctrica. Esta conversión se realiza mediante un transformador, que provoca que la energía se almacene en una batería y se transmita al sistema mediante un cableado específico. Asimismo, se podrían reducir los costes variables y como consecuencia produciría un menor impacto medioambiental. Con las membranas solares no se abastecería toda la energía necesaria para llevar a cabo el proceso, pero si un porcentaje considerable.

El proceso se debería implantar a una cadena de producción ya que es necesario interconectar las distintas etapas del proceso de fabricación. Por lo tanto, cuando el tubo de pasta dental salga de la llenadora tendrá que pasar automáticamente a la etapa de sellado. Este paso automático se realizará mediante las cintas transportadoras. Se tendrá que tener muy calculado cuanto tiempo está el producto en cada etapa del proceso de fabricación con tal de ajustar la velocidad de la cinta. El hecho de ajustar la velocidad provocará que no se produzcan colas de tubos de pasta dental en la cinta transportadora, ya que esto supone un aumento del tiempo total de producción.

De forma externa al proceso de producción, habrá un departamento de marketing que se encargará de diseñar el packaging del envase de pasta dental. Una vez finalizado el proceso de fabricación, el producto abandonará la selladora y pasará por un control de calidad final donde se determinará si se ha realizado un buen sellado. Posteriormente se colocará, el tubo de pasta dental, en el envoltorio diseñado anteriormente. Luego se distribuirán todos los productos en los pallets y serán transportados hasta el almacén. Cada vez que haya se efectúe una comanda por parte de los puntos de venta como por ejemplo, supermercados o droguerías, la empresa transportista contratada llevará la comanda hasta el establecimiento de venta.

7 CONCLUSIONES

En este proyecto se ha desarrollado un estudio de un proceso de sellado óptimo para tubos de pasta de dientes. Se ha partido de varios procesos de sellado, los cuales han pasado por varios estudios, que han ejercido la función de filtro, con la finalidad de descartarlos uno a uno para encontrar el proceso que ofrece las mejores prestaciones, siempre respetando las especificaciones básicas y los objetivos delimitados en el proyecto.

En definitiva, después de llevar a cabo este proyecto, se puede asumir que el sellado por frecuencia ultrasónica se considera un proceso óptimo para el sellado de tubos de pasta dental. Se ha llegado a esta conclusión mediante un estudio económico, medioambiental y técnico de los procesos candidatos al óptimo.

El sellado por ultrasonido ofrece un producto de calidad invirtiendo una menor cantidad de dinero y al mismo tiempo, supone un ahorro en los tiempos de producción si se compara con otros procesos de sellados. Además, se puede considerar que es un proceso respetuoso con el medio ambiente ya que emite una cantidad casi negligible de contaminantes atmosféricos. Tanto el ahorro económico como el buen comportamiento ambiental son dos aspectos muy destacados a tener en consideración en un proceso industrial. A parte de estar directamente relacionados, ya que en las industrias se implanta la normativa que se rige por la ley del quien contamina paga, tener un coste de producción bajo y a la vez siendo respetuoso con la naturaleza son factores que aseguran el éxito empresarial contribuyendo a la preservación del planeta.

Una de las posibles continuaciones del proyecto realizado podría ser la optimización de la técnica utilizada en el sellado por ultrasonido. Asimismo, dicha mejora tendría que incluir una reducción, tanto de los costes añadidos al proceso como del impacto medioambiental, al máximo de lo posible.

9 BIBLIOGRAFÍA

Tecnología de plásticos. Termosellado En línea. Disponible en:
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es> (Consulta 04/04/2016)

Fao corporate document repository. Seaming. En línea. Disponible en:
<http://www.fao.org/> (Consulta 06/04/2016)

Tecnología de plásticos. Polietileno En línea. Disponible en:
<http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.es> (Consulta 23/04/2016)

Telsonic. Plastic ultrasonic welding. En línea. Disponible en:
<http://www.telsonic.com> (Consulta 06/04/2016)

Gestiona web. Sellado por inducción. En línea. Disponible en:
<http://docs.gestionaweb.cat> (Consulta 03/04/2016)

Otra bibliografía de soporte

The Welding Institute. *Ultrasonic Welding Technique*

Benson, Steve D. (1997) Press brake technology: a guide to precision sheet metal bending. Society Manufacturing Engineers.

Apuntes asignatura Ciencia y Tecnología del medioambiente.

Apuntes asignatura Proyectos.

Dukane. Ultrasonic welding. En línea. Disponible en:
<http://www.dukane.com> (Consulta 21/04/2016)